

Helsinki 5.9.2003

10/526477

CT/EL 0 3/00 6 4 9  
26 SEP 2003

ETUOIKEUSTODISTUS  
PRIORITY DOCUMENT

REC'D 07 OCT 2003

WIFO PGT



Hakija  
Applicant

Valtion teknillinen tutkimuskeskus  
Espoo

Patenttihakemus nro  
Patent application no

20021583

Tekemispäivä  
Filing date

04.09.2002

Kansainvälinen luokka  
International class

G02F

Keksinnön nimitys  
Title of invention

"Menetelmä optoelektronisen komponentin ohjaamiseksi".

Täten todistetaan, että oheiset asiakirjat ovat tarkkoja jäljennöksiä Patentti- ja rekisterihallitukselle alkuaan annetuista selityksestä, patenttivaatimuksista, tiivistelmästä ja piirustuksista.

This is to certify that the annexed documents are true copies of the description, claims, abstract and drawings originally filed with the Finnish Patent Office.

  
Pirjo Kalla  
Tutkimussihtööri

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

Maksu 50 €  
Fee 50 EUR

Maksu perustuu kauppa- ja teollisuusministeriön antamaan asetukseen 1027/2001 Patentti- ja rekisterihallituksen maksullisista suoritteista muutoksineen.

The fee is based on the Decree with amendments of the Ministry of Trade and Industry No. 1027/2001 concerning the chargeable services of the National Board of Patents and Registration of Finland.

Osoite: Arkadiankatu 6 A  
P.O.Box 1160  
FIN-00101 Helsinki, FINLAND

Puhelin: 09 6939 500  
Telephone: + 358 9 6939 500

Telefax: 09 6939 5328  
Telefax: + 358 9 6939 5328

Best Available Copy

**MENETELMÄ OPTOELEKTRONISEN KOMPONENTIN OHJAAMISEKSI****KEKSINNÖN ALA**

Keksintö liittyy optoelektroniikkaan ja keksinnön kohteena on patenttivaatimuksen 1 johdanto-osassa määritelty menetelmä.

**KEKSINNÖN TAUSTA**

Kahden aaltojohteen, kuten valokanavan tai sen tapaisen (esim. optisen kuidun), välistä vaihe-eroa on eräissä optiikan sovelluksissa tarpeen muuttaa mahdollisimman nopeasti. Vaihe-eroa voidaan säätää muuttamalla joko toisen tai kummankin aaltojohteen optista matkaa (pituus kertaa taitekerroin) siten, että niiden välinen optinen matkaero muuttuu.

Esimerkiksi kuvan 1 esittämässä Mach-Zehnder interferometriin (MZI) perustuvassa optisessa 2x2 kytkimessä kahden vierekkäisen valokanavan 3 ja 4 välisen vaihe-eron muuttaminen lämmittämällä suuntakytkinten 16 ja 17 välissä olevalla alueella saa kytkimen siirtymään edestakaisin rinnakkais- ja ristikkäistilojen välillä (engl. bar/cross state). Toisesta sisään- tuleva optinen teho ohjautuu rinnakkaistilassa (on-tilassa) saman valokanavan ulostuloon ja ristikkäistilassa (off-tila) vierekkäisen valokanavan ulostuloon. Mikäli kytkimen sisään- ja ulostulopuolen suuntakytkimet 16 ja 17 ovat ideaalisia 50:50 tehonjakajia, niin kytkin on ristikkäistilassa (off-tila), kun vaihe-ero on  $0^\circ$  ( $\pm N \cdot 360^\circ$ ) ja rinnakkaistilassa (on-tila), kun vaihe-ero on  $180^\circ$  ( $\pm N \cdot 360^\circ$ ). Kytkimen toiminta siirtyy vaihe-eron funktiona kosinimuotoisesti rinnakkaistilan ja ristikkäistilan välillä. Mikäli suuntakytkimet ovat epäideaalisia 50:50 tehonjakajia, niin rinnakkais- ja ristikkäistilasta ainakin toinen on vain osittainen, jolloin kyseisessä osittaisessa kytkentätilassa kummankaan valokanavan ulostuloteho ei ole nolla, vaan optinen teho jakautuu tietyssä suhteessa kumpaankin

ulostuloon. Kun suuntakytkimet 16 ja 17 ovat häviöttömiä ja identtisiä keskenään, on sisääntuloon nähden ristikkäisen valokanavan transmissio  $T_x$  vaihe-eron  $\Delta\phi$  funktiona muotoa

$$T_x = \frac{1}{2} \sin^2(\pi r / 2) [1 + \cos(\Delta\phi)],$$

missä  $r$  on suuntakytkimen pituus suhteessa sen ideaaliseen pituuteen. Rinnakkaistilan transmissio on  $T_{||} = 1 - T_x$ . Käyttämällä em. kytkimestä vain yhtä sisään- ja ulostuloa tai käyttämällä samaan tapaan toimivaa symmetristä 1x1 Mach-Zehnder interferometriä, saadaan toteutettua esimerkiksi säädettävä vaimennin tai on/off -kytkin. Samantapaisilla rakenteilla voidaan toteuttaa myös esim. säädettäviä aallonpituus-suodattimia.

Kuvassa 2 on esitetty kaaviomainen poikkeileikkaus kuvan 1 entuudestaan tunnetusta kytkimestä. Valokanavat 3 ja 4 ovat tässä esimerkissä ns. silicon-on-insulator (SOI) -valokanavia. Kytkimeen kuuluu alusta 12, joka on piitä (Si) ja tässä esimerkissä n. 0,5 mm paksu. Alustan 12 päällä on ohut  $\text{SiO}_2$ -kerros 13, jonka paksuus on 1  $\mu\text{m}$ .  $\text{SiO}_2$ -kerroksen 13 päällä on n. 5  $\mu\text{m}$  paksu piikerros (Si) 14 koko alueella valokanavien ympärillä. Valokanavien 3, 4 kohdalla on paikalliset harjanteet. Piikerroksen 14 paksuus harjanteen kohdalla on 10  $\mu\text{m}$ . Piikerroksen 14 päällä on 1  $\mu\text{m}$  paksu  $\text{SiO}_2$ -kerros 15. Valokanavien kohdalla  $\text{SiO}_2$ -kerroksen 15 päällä on 0,5  $\mu\text{m}$  paksut lämmitysvastukset 5 ja 6 kuvan 1 mukaisissa kohdissa. Harjanne toimii valokanavana, jonka alla katkoviivalla havainnollistettu kenttä etenee. Sivusuunnassa sitä rajaa vain porrás, eli piikerros 14 jatkuu toiseen valokanavaan saakka. Valo pysyy harjanteen kohdalla ja etenee pitkin sitä.

Entuudestaan tunnetaan kaksi eri menetelmää, jolla optoelektronista komponenttia voidaan ohjata. Nämä menetelmät on esitetty kaaviomaisina periaatekuvinä kuvissa 3 ja 4.

Kuvassa 3 on esitetty kytkimen valokanavan ohjaussignaalin amplitudi ajan funktiona, kun kahdesta vierekkäisestä valokanavasta vain toista valokanavaa moduloidaan sähköisellä ohjaussignaaleilla, joka aiheuttaa taitekertoimen muutoksen (ts. optisen pituuden muutoksen) ja sitä kautta vaihe-eron valokanavien välille. Ohjaussignaalin amplitudi on kuvassa 3 esitetty paksulla mustalla viivalla piirrettynä. Valokanavien välille syntyvä vaihe-ero on esitetty pisteviivalla.

10 Kytkimen off-tilassa ohjaussignaalin amplitudi on nol-la ja on-tilassa sellaisessa arvossa, että moduloitavan valokanavan optinen matka on lyhentynyt tai pidentynyt puolikkaan aallonpituuden verran (vaihe-ero  $180^\circ$ ).

15 Kuvassa 4 on esitetty kuvan 3 menetelmälle vaihtoehtoinen entuudestaan tunnettu menetelmä. Kuvassa 4 on esitetty kytkimen kahden valokanavan ohjaussignaalien amplitudi ajan funktiona, kun kumpaakin valokanavaa moduloidaan sähköisillä ohjaussignaaleilla.

20 Off-tilassa on tällöin kummankin valokanavan optinen pituus normaalista poikkeava, mutta identtinen. On-tilassa puolestaan ainakin toista valokanavaa on pidennetty tai lyhennetty siten, että valokanavien opti-nen pituusero on puolet aallonpituudesta. Jälkimmäinen vaihtoehto kuluttaa tehoa enemmän, mutta sen etuna on

25 stabiilimpi (esim. vakio) tehonkulutus ja mahdollisesti hieman nopeampi toiminta.

Kuvan 4 menetelmä edustaa keksinnölle lähintä tekniikkaa vastaten patenttivaatimuksen 1 johdantoa.

30 Sen mukaan tunnetussa menetelmässä ensimmäisen aaltojohteen taitekerrointa muutetaan jaksottaisesti ensimmäisellä ohjaussignaaleilla, jonka amplitudia vaihdellaan jaksottaisesti ensimmäisen amplituditason I ja toisen amplituditason II, joka on suurempi kuin ensimmäinen amplituditaso, välillä. Toisen aaltojohteen taitekerrointa muutetaan jaksottaisesti toisella ohjaussignaaleilla, jonka amplitudia vaihdellaan jaksottai-

35

sesti mainitun ensimmäisen amplituditason I ja kolmannen amplituditason III, joka on pienempi kuin ensimmäinen amplituditaso, välillä. Tällöin kun ensimmäinen ja toinen ohjaussignaali ovat samalla ensimmäisellä amplituditasolla I ensimmäisen ja toisen aaltojohteen taitekertoimet ovat yhtäsuuret ja niiden välinen vaihe-ero on nolla. Kun ensimmäinen ohjaussignaali on toisella amplituditasolla II ja toinen ohjaussignaali kolmannella amplituditasolla III, ensimmäisen ja toisen aaltojohteen taitekertoimet ovat erisuuruiset niin, että niiden välillä on ennalta määrätty vaihe-eron tavoitearvo. Vaihe-eron nousujaksossa ensimmäinen amplituditaso I muodostaa ensimmäisen ja toisen ohjaussignaalin lähtötason, toinen amplituditaso II muodostaa ensimmäisen ohjaussignaalin tavoitetason ja kolmas amplituditaso III muodostaa toisen ohjaussignaalin tavoitetason. Vastaavasti vaihe-eron laskujaksossa toinen amplituditaso II muodostaa ensimmäisen ohjaussignaalin lähtötason, kolmas amplituditaso III muodostaa toisen ohjaussignaalin lähtötason ja ensimmäinen amplituditaso I muodostaa ensimmäisen ja toisen ohjaussignaalin tavoitetason.

Edelleen tunnetaan, että valokanavan optista matkaa (ja siinä etenevän valon vaihetta) voidaan muuttaa esim. lämmittämällä, puristamalla tai taivuttamalla valokanavaa, synnyttämällä valokanavaan sähkökenttä tai ohjaamalla siihen sähkövirtaa. Eri modulaatiomekanismeilla on hyvät ja huonot puolensa liittyen mm. nopeuteen, optiseen vaimennukseen, sähköiseen tehonkulutukseen, tarvittavaan modulaatiomatkkaan ja hintaan.

Tunnetut termo-optiset kytkimet toimivat yleensä korkeintaan 1 kHz:n taajuudella, mutta ovat melko yksinkertaisia ja edullisia valmistaa. Niissä optisen matkan modulaationopeutta rajoittaa lämmön johtuminen lämmitysvastuksesta valokanavan ytimeen ja edelleen siitä pois, sekä valokanavan lämpökapasiteet-

ti. Yleisesti ottaen lämmitys on sitä tehokkaampaa ja nopeampaa mitä pienempi lämmitettävä tilavuus on. Hyvä lämmönjohtavuus valokanavasta poispäin, esim. alla olevaan jäähdytettyyn alustakiekkoon, nopeuttaa modulaatiota, mutta samalla kasvattaa sähköistä tehonkulu-  
 5 tusta. Mikäli valokanava on pieni ja termisesti hyvin eristetty ympäristöstään, se voi lämmetä nopeasti, mutta jäähtyä hitaasti. Yleensä termo-optiset kytkimet lämpenevätkin huomattavasti nopeammin kuin jäähtyvät.

10 Esimerkiksi kuvan 2 mukainen silicon-on-insulator (SOI) -valokanava kuitenkin lämpenee ja jäähtyy lähes yhtä nopeasti, sillä siinä lämpö leviää piitä pitkin tehokkaasti sivusuunnassa ja johtuu sitten laajalta alalta ohuen oksidikerroksen läpi piialustaan. Hyvän  
 15 lämmönjohtavuuden ansiosta SOI-valokanavassa 180°:een edestakaiset vaihe-eromuutokset voidaan kokeiden perusteella tehdä jopa n. 10 kHz:n taajuudella eli hie-  
 man kaupallisia termisiä kytkimiä nopeammin. Lämmityste-  
 20 ho on tällöin yhtä valokanavaa moduloitaessa on-tilassa noin 0,3 - 0,4 W ja off-tilassa 0 W eli vielä varsin kohtuullinen. Valokanavan lämpötila vakiintuu eksponentiaalisesti, joten esimerkiksi 90%:n modulaatio voidaan tehdä huomattavasti 99%:n modulaatiota no-  
 peammin.

25 Edelleen tunnetaan sähkökentän tai sähkövirran käyttö ohjaussignaalina, joka johdetaan suoraan valokanavan läpi, mikä mahdollistaa huomattavasti nopeampien kytkimien valmistamisen, mutta niiden tyypillisinä ongelmina ovat suurempi optinen vaimennus ja  
 30 teknologian kalleus. Myös niissä on jonkin verran modulaationopeutta rajoittavaa viivettä.

Julkaisussa US 5,173,956 on esitetty optinen kytkin, jossa taitekerrointa ohjataan johtamalla sähkövirtaa aineen läpi sisäisen lämmityksen aikaansaami-  
 35 seksi. Julkaisu mainitsee kytkimellä saavutettavan 1 MHz kytkentänopeuden. Kuten mainittiin, sähkövirran

johtamisella on kuitenkin se haittapuoli, että se aiheuttaa optista vaimennusta.

Julkaisu US 6,278,822 koskee laitetta, jossa kahden aaltojohteen välissä on eri materiaaleja, joiden kautta johdettu sähkövirta samanaikaisesti lämmit-  
 5 tää yhtä aaltojohdetta ja jäähdyttää toista aaltojohdetta Peltier-efektin avulla. Optiseen kytkimeen sovellettuna ratkaisulla saavutetaan 10 MHz:n kytkentänopeus. Ongelmana on, että ratkaisu edellyttää kytkimen rakenteen muuttamista, ts. sillä ei voida parantaa  
 10 olemassa olevan kytkimen kytkentänopeutta.

#### KEKSINNÖN TARKOITUS

Keksinnön tarkoituksena on tuoda esiin menetelmä, jolla kahden aaltojohteen, kuten valokanavan tai sen tapaisen, välistä vaihe-eroa voidaan muuttaa huomattavasti tunnettuja menetelmiä nopeammin ilman, että komponenttiin tarvitsee tehdä mitään rakenteellisia muutoksia. Optoelektronisen komponentin ollessa  
 20 esimerkiksi optinen kytkin, voidaan sen kytkentänopeutta kasvattaa olennaisesti.

#### KEKSINNÖN YHTEENVETO

Keksinnön mukaiselle menetelmälle on tunnusomaista se, mitä on esitetty patenttivaatimuksessa 1.  
 25

Keksinnön mukaisesti vaihe-eron muutoksen nopeuttamiseksi ensimmäisestä ja toisesta ohjaussignaalista ainakin toisen niistä amplitudia säädetään kulloisestakin lähtötasosta kulloisenkin tavoitetasonsa  
 30 ohi ennen asettamista tavoitetasolleen.

Keksinnön etuna on, että menetelmän avulla kahden aaltojohteen, kuten valokanavan tai sen tapaisen, välistä vaihe-eroa voidaan muuttaa huomattavasti tunnettuja menetelmiä nopeammin pelkästään käyttäen  
 35 hyväksi sopivaa ohjaussignaalien modulointia ilman komponentin rakenteellisia muutoksia. Näin ollen jo olemassa olevien optoelektronisten komponenttien toi-

mintaa voidaan parantaa pelkästään muuttamalla niitä ohjaavia sähköisiä ohjaussignaaleja toimimaan keksinnön mukaisella tavalla. Ohjaussignaalien amplitudeja ei perinteiseen tapaan (ks. kuva 4) aseteta yksinkertaisesti haluttuihin tavoitetasoihinsa, vaan vaiheeron muutokset (nousut ja laskut) toteutetaan nopeiden ja teholtaan vaihtelevien ohjaussignaalien avulla. Tällöin vaihe-ero saadaan siirrettyä haluttuun arvoonsa mahdollisimman nopeasti.

- 10 Menetelmän eräässä sovellutuksessa vaihe-eron nousujakson nopeuttamiseksi ensimmäisen ohjaussignaalin amplitudi nostetaan lähtötasoltaan, so. ensimmäiseltä amplituditasolta, neljännelle amplituditasolle, joka on olennaisesti suurempi kuin tavoitetaso, so.
- 15 toinen amplituditaso. Samanaikaisesti toisen ohjaussignaalin amplitudi lasketaan lähtötasoltaan, so. ensimmäiseltä amplituditasolta viidennelle amplituditasolle, joka on nolla tai olennaisesti tavoitetasoa, so. kolmatta amplituditasoa, pienempi. Sen jälkeen en-
- 20 simmäisen ohjaussignaalin amplitudi lasketaan tavoite- tasoonsa, so. toiselle amplituditasolle ja toisen ohjaussignaalin amplitudi asetetaan tavoitetasoonsa, so. kolmannelle amplituditasolle.

- Menetelmän eräässä sovellutuksessa nousujakson
- 25 nopeuttamiseksi valitaan ensimmäisen ohjaussignaalin neljäs amplituditaso niin suureksi, että vaihe-ero pyrkii selvästi nousemaan mainittua ennalta määrättyä vaihe-eron tavoitearvoa suuremmaksi, jolloin muodostuu taitekertoimen ns. ylilyönti. Ylilyönnin kompensoimiseksi nostetaan toisen ohjaussignaalin amplitudi kuu-
- 30 dennelle amplituditasolle, joka on korkeampi kuin viides amplituditaso.

- Menetelmän eräässä sovellutuksessa ensimmäisen ohjaussignaalin amplitudi asetetaan seitsemännelle am-
- 35 plituditasolle, joka on pienempi kuin toinen amplituditaso, ennen kuin se asetetaan tavoitearvoonsa, so. toiselle amplituditasolle.



Menetelmän eräässä sovellutuksessa vaihe-eron laskujakson nopeuttamiseksi ensimmäisen ohjaussignaalin amplitudi asetetaan lähtötasoltaan, so. toiselta amplituditasolta, kahdeksannelle amplituditasolle, joka on nolla tai olennaisesti pienempi kuin tavoitetaso, so. ensimmäinen amplituditaso. Samanaikaisesti toisen ohjaussignaalin amplitudi nostetaan lähtötasoltaan, so. kolmannelta amplituditasolta yhdeksännelle amplituditasolle, joka on olennaisesti tavoitetasoa, so. ensimmäistä amplituditasoa, suurempi. Sen jälkeen ensimmäisen ohjaussignaalin amplitudi asetetaan tavoitetasoonsa, so. ensimmäiselle amplituditasolle ja toisen ohjaussignaalin amplitudi asetetaan tavoitetasoonsa, so. ensimmäiselle amplituditasolle.

Menetelmän eräässä sovellutuksessa ennen kuin toisen ohjaussignaalin amplitudi asetetaan tavoitetasoonsa, so. ensimmäiselle amplituditasolle, toisen ohjaussignaalin amplitudi lasketaan yhdeksänneltä amplituditasolta kymmenennelle amplituditasolle, joka on pienempi kuin ensimmäinen amplituditaso.

Menetelmän eräässä sovellutuksessa valitaan kymmenes amplituditaso olennaisesti samansuuruiseksi kuin kahdeksas amplituditaso.

Menetelmän eräässä sovellutuksessa valitaan ensimmäinen amplituditaso, kolmas amplituditaso, viides amplituditaso, seitsemäs amplituditaso, kahdeksas amplituditaso ja/tai kymmenes amplituditaso nolaksi.

Menetelmän eräässä sovellutuksessa valitaan ensimmäinen amplituditaso ja/tai kolmas amplituditaso suuremmaksi kuin nolla.

Menetelmän eräässä sovellutuksessa moduloidaan ensimmäisen ja toisen aaltojohteen välistä vaihe-eroa kahdella tai useammalla peräkkäisellä modulaattorilla.

Menetelmän eräässä sovellutuksessa modulaattorit ohjataan toimimaan vuorotellen.

Menetelmän eräässä sovellutuksessa vain osa peräkkäin tavoitelluista vaihe-eromuutoksista toteute-

taan yhtä modulaattoria vastaavilla ohjaussignaaleilla. Muut vaihe-eromuutokset toteutetaan tähän modulaattoriin nähden peräkkäin olevien seuraavien yhden tai useamman vastaavan modulaattorin ohjaussignaaleilla  
 5 la niin, että modulaattorien aiheuttamat vaihe-eromuutokset summautuvat yhteen. Tällöin seuraava vaihe-eromuutos voidaan tehdä seuraavalla modulaattorilla heti kun edellinen vaihe-eromuutos on toteutettu, vaikka sen toteuttaneen modulaattorin aaltojohteiden  
 10 taitekertoimet eivät ole vielä vakiintuneet tavoite-tasoiheen.

Menetelmän eräässä sovellutuksessa ainakin kaksi peräkkäistä modulaattoria ovat keskenään erilaisia siten, että ensimmäinen modulaattori on toiseen  
 15 modulaattoriin nähden merkittävästi nopeampi ja enemmän tehoa kuluttava, jolloin ensimmäistä modulaattoria käytetään nopeiden ja/tai peräkkäisten vaihe-eromuutosten toteuttamiseen ja toista modulaattoria käytetään hitaiden ja/tai yksittäisten vaihe-  
 20 eromuutosten sekä pitkien staattisten toimintatilojen toteuttamiseen, jolloin keskimääräinen tehonkulutus on merkittävästi pienempi kuin pelkkää ensimmäistä modulaattoria käytettäessä ja modulaation maksiminopeus on merkittävästi korkeampi kuin pelkkää toista modulaat-  
 25 toria käytettäessä.

Menetelmän eräässä sovellutuksessa ohjaussignaalit optimoidaan nousu- ja/tai laskujaksojensa aikana siten, että ne riippuvat, paitsi vaihe-eron alkutilasta ja tavoitetilasta, myös vaihe-eron alkutilaa  
 30 edeltävästä ja/tai vaihe-eron tavoitetilaa seuraavasta ainakin yhdestä vaihe-eromuutoksesta siten, että optimoinnissa otetaan huomioon vaihe-eromuutosta mahdollisesti edeltävä ja/tai seuraava vakiintumisaika, jonka aikana vaihe-ero on jo saavuttanut tavoitellun tason-  
 35 sa, mutta aaltojohteiden taitekertoimet eivät ole vielä vakiintuneet.

Menetelmän eräässä sovellutuksessa asetetaan ennalta määrätyksi vaihe-eron tavoitearvoksi noin 180°.

Menetelmän eräässä sovellutuksessa järjestetään aaltojohteet valokanaviksi.

Menetelmän eräässä sovellutuksessa valitaan valokanavat seuraavista: SOI (silicon-on-insulator) -valokanava, lasivalokanava, polymeerivalokanava, yhdistepuolijohdevalokanava.

Menetelmän eräässä sovellutuksessa valitaan optoelektroniseksi komponentiksi optinen kytkin, kuten interferometrinen kytkin.

Menetelmän eräässä sovellutuksessa valitaan komponentti, jossa on yksi tai useampi Mach-Zehnder interferometri, joka muodostaa optisen kytkimen tai suodattimen.

Menetelmän eräässä sovellutuksessa valitaan optiseksi kytkimeksi termo-optinen kytkin, jossa modulaattorit ovat valokanavia lämmittäviä lämmityselementtejä ja sähköiset ohjaussignaalit muodostuvat lämmityselementteihin syötettävistä ohjausjännite/virtapulssista, jolloin ohjaussignaalin amplituditaso vastaa ohjausjännite/virtapulssin lämmityselementissä synnyttämää lämmitystehoa.

25

#### KUVALUETTELO

Seuraavassa keksintöä selostetaan yksityiskohtaisesti sovellutusesimerkkien avulla viittaamalla oheiseen piirustukseen, jossa

kuva 1 esittää päältä nähtynä ja suurennettuna entuudestaan tunnettua Mach-Zehnder interferometriin perustuvaa termo-optista 2x2 kytkintä.

kuva 2 esittää suurennettua poikkileikkausta II-II kuvasta 1,

kuva 3 esittää kaaviomaisesti erästä tunnettua menetelmää vaihe-eron moduloimiseksi, ts. valokanavan ohjaussignaalin amplitudia ajan funktiona, kun

kahdesta vierekkäisestä valokanavasta vain toista valokanavaa moduloidaan sähköisellä ohjaussignaaleilla,

kuva 4 esittää erästä tunnettua menetelmää vaihe-eron moduloimiseksi, ts. kahden valokanavan ohjaussignaalien amplitudeja ajan funktiona, kun kumpakin valokanavaa moduloidaan sähköisillä ohjaussignaaleilla,

kuva 5 havainnollistaa kaaviomaisesti keksinnön mukaisen menetelmän mukaisesti ohjaussignaalien amplitudeja (esim. lämmitystehoja tai ohjausjännitteitä) ajan funktiona on- ja off- tilojen välisen nousujakson (off→on) ja laskujakson (on→off) aikana,

kuva 6 esittää kaaviomaisesti kuvan 5 mukaisilla ohjaussignaaleilla aikaansaattavia valokanavien taitekertoimia (tai vastaavasti lämpötiloja, joilla on suora vaikutus taitekertoimiin) ajan funktiona nousujakson ja laskujakson aikana, kun sähköisen ja optisen signaalin välille ei ole oletettu merkittävää viivettä,

kuva 7 esittää kuvia 5 ja 6 vastaavasti aikaansaattavaa valokanavien välistä vaihe-eroa ajan funktiona nousujakson ja laskujakson aikana,

kuva 8 esittää keksinnön mukaisella menetelmällä termo-optisesta kytkimestä kokeellisesti taajuudella 24,3 kHz saatuja tuloksia, kuvan esittäessä optisen signaalin ulostulotehoa  $P_{opt}$ , ensimmäinen valokanavan lämmitystä ohjaavan ensimmäisen ohjaussignaalin amplitudia eli lämmitystehoa  $P_1$ , ja toisen valokanavan lämmitystä ohjaavan toisen ohjaussignaalin amplitudia eli lämmitystehoa  $P_2$ , ajan funktiona, ja

kuva 9 esittää keksinnön mukaisella menetelmällä termo-optisesta kytkimestä kokeellisesti taajuudella 161 kHz saatuja tuloksia kuvan esittäessä optisen signaalin ulostulotehoa  $P_{opt}$ , ensimmäinen valokanavan lämmitystä ohjaavan ensimmäisen ohjaussignaalin amplitudia eli lämmitystehoa  $P_1$ , ja toisen valo-

kanavan lämmitystä ohjaavan toisen ohjaussignaalin amplitudia eli lämmitystehoa P2 ajan funktiona.

#### KEKSINNÖN YKSITYISKOHTAINEN SELOSTUS

5           Keksinnön mukaista menetelmää on kokeiltu käyttäen SOI-valokanaviin perustuvan 2x2 MZI-kytkimen termo-optista modulaatiota. Tällainen sinänsä tunnettu kytkin on esitetty kuvissa 1 ja 2. Modulaatioperiaatetta selostetaan seuraavassa lähinnä kyseisen sovel-

10   luksen kannalta. Keksinnön mukaista vaihe-eron modulaatioperiaatetta voidaan kuitenkin soveltaa myös monien muiden aaltojohderakenteiden (esim. lasi ja yhdistepuolijohteet), optisten komponenttien (esim. 1x1 kytkimien ja suodattimien) ja modulaatiomekanismien

15   (esim. elektro-optinen) yhteydessä.

Kuten edellä jo todettiin, perinteisessä vaihe-eron moduloinnissa muutetaan ohjausjännitteitä (tai -virtoja) kuvan 4 mukaisesti yksinkertaisesti off-tilan vakioarvoista on-tilan vakioarvoihin (nousu) ja

20   takaisin (lasku). Kahta valokanavaa moduloitaessa ohjaussignaaleja on kaksi kappaletta. Ohjaussignaalien amplitudien muutokset saavat optisen matkaeron (ja vaihe-eron) muuttumaan yhdestä arvosta toiseen eksponentiaalisesti vakiintuen.

25           Esimerkki keksinnön mukaisesta modulointiperiaatteesta on esitetty havainnollisesti kuvissa 5 - 7. Kuvassa 5 paksu musta viiva A esittää ensimmäisen valokanavan 3 taitekerrointa ohjaavan ensimmäisen ohjaussignaalin 1 muuttumista eri amplituditasojen välillä ajan funktiona. Kuvassa 5 on esitetty, että oh-

30   jaussignaalien amplitudien säätö eri amplituditasoille tapahtuisi suorakulmaisen portaittaisesti, mikä kuvaa eräänlaista teoreettisen ideaalia säätöä. Kuten käytännön kokeita esittävistä kuvista 8 ja 9 näkyy, ovat

35   ohjaussignaalin pulssit käytännössä kuitenkin jonkin verran pyöristyneitä. Sen vuoksi alan ammattilaiselle on selvää, ettei keksinnön mukainen periaate rajoitu

mihinkään erityisiin ohjaussignaalien muotoihin, kuten suorakulmaisiin pulsseihin. Katkoviiva B esittää toisen valokanavan 4 taitekerrointa ohjaavan toisen ohjaussignaalin 2 muuttumista eri amplituditasojen välillä  
 5 ajan funktiona. Kuvassa 6 näkyy ensimmäisen ja toisen valokanavan taitekertoimen muutokset ajan funktiona. Käyrä C esittää ensimmäisen valokanavan 3 ja käyrä D toisen valokanavan 4 taitekertoimen muuttumista. Valokanavien lämpötilojen muutos noudattaa taitekertoimen  
 10 muutoksia. Kuva 7 esittää ensimmäisen ja toisen valokanavan 3 ja 4 välisen vaihe-eron muuttumista ajan funktiona.

Valokanavien välinen vaihe-ero pyritään kyt-  
 kentävaiheessa muuttamaan mahdollisimman nopeasti ha-  
 15 luttuun arvoon säätämällä kummankin valokanavan optista pituutta erikseen ja muokkaamalla ohjaussignaaleja kytkentävaiheiden (nousu ja lasku) aikana. Tässä esimerkissä sekä nousu- että laskujaksoa on nopeutettu. Käytetään ns. off-tilan esilämmitystä eli off-tilassa  
 20 kumpaakin valokanavaa lämmitetään, ts. ohjaussignaalin 1 ja 2 lämmitystehotasot (amplitudit) asetetaan off-tilassa ensimmäiselle amplituditasolle I. Off-tilan esilämmitys ei kuitenkaan ole ehdottoman välttämätöntä.

25 Kuvista 5 - 7 näkyy, että nousuaikaa nopeutetaan nostamalla ensimmäisen valokanavan lämmitysteho ensin mahdollisimman suureksi ja pudottamalla samalla toisen valokanavan lämmitysteho nolllaan. Lähestyttäessä tavoiteltua vaihe-eroarvoa pienennetään ensimmäisen  
 30 valokanavan lämmitystehoa. Kun haluttu vaihe-ero on saavutettu, asetetaan ensimmäisen valokanavan lämmitysteho haluttuun on-tilan vakioarvoonsa ja toisen valokanavan lämmitysteho joko nolllaan tai pieneen ns. on-tilan esilämmitysarvoon. Nousuaikaa voidaan edel-  
 35 leen nopeuttaa nostamalla ensimmäisen valokanavan lämpötila nopeasti niin suureksi, että vaihe-ero pyrkii selvästi ohittamaan tavoitellun tasonsa. Tämä ylilyön-

ti voidaan kompensoida toiseen valokanavaan sopivalla hetkellä ohjatulla lämmityspulssilla (tai pulsseilla). Tällöin vaihe-ero saavuttaa mahdollisimman nopeasti tavoitellun tasonsa, jonka jälkeen kumpikin valokanava  
 5 jäähtyy kohti omaa on-tilan vakiolämpötilaansa säilyttäen samalla vaihe-eron vakiona. Jäähtyminen ympäristön lämpötilaan tapahtuu eksponentiaalisesti vakiintuen, joten pieni on-tilan esilämmitys toisessa valokanavassa nopeuttaa tasapainotilan saavuttamista. Esi-  
 10 lämmitys kytketään luonnollisesti päälle vasta kun siitä vastaava lämpötila on jo saavutettu.

Yleisemmin sanottuna, viitaten kuvaan 5, vaihe-eron nousujaksossa ensimmäisen ohjaussignaalin 1 amplitudi nostetaan off-tilan lähtötasoltaan, so. nol-  
 15 lasta poikkeavalta ensimmäiseltä amplituditasolta I, neljännelle amplituditasolle IV, joka on olennaisesti suurempi kuin lopullinen on-tilan tavoitetaso, so. toinen amplituditaso II. Samanaikaisesti toisen ohjaussignaalin 2 amplitudi lasketaan off-tilan lähtöta-  
 20 soltaan, so. ensimmäiseltä amplituditasolta I, viiden-  
 nolle amplituditasolle V, joka on tässä esimerkissä nolla. Kuvasta 6 näkyy, että off-tilan yhtä suurista taitekertoimien vakioarvoista ensimmäisen valokanavan 3 taite-kerroin C suurenee ja toisen valokanavan 4  
 25 taitekerroin D puolestaan pienenee, jolloin valokanavien välinen vaihe-ero kasvaa. Ensimmäisen ohjaussignaalin 1 neljäs amplituditaso IV voidaan valita niin suureksi, että vaihe-ero pyrkii selvästi nousemaan mainittua ennalta määrättyä vaihe-eron tavoitearvoa suu-  
 30 remmaksi, jolloin muodostuu ns. ylilyönti, mikä näkyy kuvassa 6 ensimmäisen valokanavan taitekertoimen käyrässä C nuolella "Ylilyönti" osoitetussa kohdassa. Ylilyönnin kompensoimiseksi nostetaan toisen ohjaussignaalin 2 amplitudi kuudennelle amplituditasolle VI, jo-  
 35 ka on korkeampi kuin toisen ohjaussignaalin 2 amplitudin tavoitetaso, so. kolmas amplituditaso III. Ensimmäisen ohjaussignaalin 1 amplitudi asetetaan seitsemän-

nelle amplituditasolle VII, eli nollaan ennen kuin se asetetaan tavoitearvoonsa, so. toiselle amplituditasolle II. Kompensointi näkyy toisen valokanavan taitekertoimen käyrässä D nuolella "Korjaus" osoitetussa kohdassa. Nousujakson lopuksi ensimmäisen ohjaussignaalin 1 amplitudi asetetaan tavoitetasoonsa, so. toiselle amplituditasolle II, ja toisen ohjaussignaalin 2 amplitudi asetetaan on-tilan tavoitetasoonsa, so. kolmannelle amplituditasolle III. Kuvasta 6 näkyy, että on-tilassa ensimmäisen valokanavan 1 taitekertoimella (käyrä C) on ylempi vakioarvonsa ja toisen aaltojoh-teen 2 taitekertoimella (käyrä D) on alempi vakioarvonsa, jolloin niiden välinen vaihe-ero on vakio, kuten on esitetty kuvan 7 vaihe-eroa kuvaavalla käyrällä E.

Vaihe-eron laskuaikaa voidaan puolestaan nopeuttaa ohjaamalla toiseen (kylmempään) valokanavaan lämmityspulssi samalla kun ensimmäisen valokanavan lämmitys lopetetaan ja sen annetaan jäähtyä kohti off-tilan vakioarvoaan. Toisen valokanavan lämpötila pyritään saamaan mahdollisimman nopeasti samaksi ensimmäisen valokanavan lämpötilan kanssa, jonka jälkeen niiden annetaan yhdessä jäähtyä kohti off-tilan vakiolämpötilojaan (ks. kuva 6). Off-tilan esilämmitys nopeuttaa merkittävästi lämpötilojen vakiintumista. Esilämmitykset kytketään jälleen päälle vasta kun tavoitellut vakiolämpötilat on jo saavutettu.

Yleisemmin sanottuna, viitaten kuvaan 5, vaihe-eron laskujaksossa ensimmäisen ohjaussignaalin 1 amplitudi lasketaan on-tilan lähtötasoltaan, so. toiselta amplituditasolta II, kahdeksannelle amplituditasolle VIII, joka on tässä nolla. Samanaikaisesti toisen ohjaussignaalin 2 amplitudi nostetaan lähtötasoltaan, so. kolmannelta amplituditasolta III, yhdeksännelle amplituditasolle IX, joka on olennaisesti tavoitetasoa, so. ensimmäistä amplituditasoa I, suurempi. Ennen kuin toisen ohjaussignaalin 2 amplitudi asete-



taan off-tilan tavoitetasoonsa, so. ensimmäiselle amplituditasolle I, toisen ohjaussignaalin 2 amplitudi lasketaan yhdeksänneltä amplituditasolta IX kymmenennelle amplituditasolle X, joka on tässä nolla. Sitten

5 ensimmäisen ohjaussignaalin 1 amplitudi nostetaan tavoitetasoonsa, so. ensimmäiselle amplituditasolle I ja toisen ohjaussignaalin 2 amplitudi asetetaan tavoitetasoonsa, so. ensimmäiselle amplituditasolle I. Tämän vaikutus valokanavien taitekertoimen arvojen muuttumiseen näkyy kuvasta 6. Laskujakson alussa ensimmäisen

10 valokanavan 3 taitekerroin C alkaa laskea on-tilan ylemmästä vakioarvosta ja samanaikaisesti toisen valokanavan 4 taitekerroin D alkaa nousta on-tilan alemmasta vakioarvosta. Käyrien C ja D yhtyessä taiteker-

15 toimet ovat yhtä suuret, jolloin vaihe-ero on nolla, kuten kuvan 7 vaihe-erokäyrästä E näkyy. Valokanavat jäähtyvät yhtä nopeasti, eli niiden taitekertoimet laskevat yhtä nopeasti kohti off-tilan vakioarvoa.

Tunnettuihin menetelmiin nähden keksinnön mukainen modulointi mahdollistaa merkittävästi nopeammat vaihe-eron nousu- ja laskuajat. Vaihe-ero saavuttaa erittäin nopeasti halutun arvonsa ja sopivia esilämmitystehoja käyttämällä valokanavien lämpötilat vakiintuvat vakioarvoihinsa lähes yhtä nopeasti. Mikäli lämpötilat eivät ehdi riittävästi vakiintua nousu- ja

20 laskuaikojen välissä niin toisen tai kummankin valokanavan lämpötila voi lähteä pikkuhiljaa nousemaan haitallisen korkeaksi (vrt. kuvat 6 ja 7). Jos lämpötilojen vakiintuminen rajoittaa vaihe-eromoduloinnin

25 taajuutta selvästi varsinaisia vaihe-eron nousu- ja laskuaikoja enemmän, niin taajuutta ei voida suoraviivaisesti nostaa aivan niiden mukaiselle äärirajalle. Toisaalta pulssimuodot ovat silloin perinteiseen modulaation verrattuna selvästi parempia eli suorakulmaisempia. Tämä puolestaan mahdollistaa kahden tai useamman vaihe-eromodulaattorin sijoittamisen peräkkäin. Ne

30 voivat silloin vaihtaa tilaansa vuorotellen ja siten

mahdollistaa modulaattoreiden määrästä riippuen joko kaksin- tai moninkertaisen modulointitaajuuden. Esimerkiksi kuvan 1 termo-optisessa kytkimessä on kaksi peräkkäin järjestettyä vaihe-eromodulaattoria 10 ja 11, joihin kuhunkin kuuluu pari rinnakkaisia valokanavien 3 ja 4 lämmityselementtejä 5, 6 sekä 7, 8. Kytkintä ohjataan on- ja off-tilan välillä käyttämällä modulaattoreita vuorotellen niin, että toinen ehtii jäähtyä sinä aikana, kun toista käytetään.

10 Modulaattoreita voi olla peräkkäin haluttu lukumäärä ja ne voivat olla keskenään samanlaisia tai erilaisia. Modulaattorit voidaan ohjata toimimaan vuorotellen. Vain osa peräkkäin tavoitelluista vaihe-eromuutoksista voidaan toteuttaa yhtä modulaattoria  
15 vastaavilla ohjaussignaaleilla ja muut vaihe-eromuutokset voidaan toteuttaa mainittuun modulaattoriin nähden peräkkäin olevien seuraavien yhden tai useamman vastaavan modulaattorin ohjaussignaaleilla niin, että niiden aiheuttamat vaihe-eromuutokset sum-  
20 mautuvat yhteen, jolloin seuraava vaihe-eromuutos voidaan tehdä seuraavalla modulaattorilla heti kun edellinen vaihe-eromuutos on toteutettu, vaikka sen toteuttaneen modulaattorin aaltojohteiden taitekertoimet eivät ole vielä vakiintuneet tavoitetasoilleen.

25 Jos esimerkiksi valokanavan termistä eristystä parannetaan, niin yhden valokanavan lämpötilamuutoksen laskuaika voi tulla merkittävästi pidemmäksi kuin nousuaika. Hyvin eristetty piidyin luonnollisesti lämpenee nopeammin kuin jäähtyy. Käyttämällä keksinnön  
30 mukaista optisen signaalin laskuajan optimointia saadaan sekä optinen nousu- että laskuaika hyvin nopeaksi, mutta valokanavien lämpötilojen vakiintuminen staattista on/off-tilaa vastaavaksi kestää laskuajan jälkeen vielä pitkän aikaa. Tämä vakiintumisaika rajoittaa jatkuvaa toimintataajuutta, sillä nopean las-  
35 kun jälkeen täytyy odottaa pitkään ennen kuin seuraava nousu voidaan tehdä. Mikäli tätä odotusta ei tehdä

niin jatkuva edestakainen toiminta nostaa valokanavien lämpötilat jatkuvasti ylemmäs, kunnes kytkin ei enää toimi halutulla tavalla. Mikäli lämpötilojen annetaan vakiintua niin maksimaalisella toimintataajuudellakin optiset pulssit (ulostulosignaalit) ovat vielä hyvin suorakulmaisen muotoisia. Perinteisessä modulaatiossa-  
 5 han taajuuden nostaminen yleensä pyöristää pulsseja ja pienentää signaalin vaihteluväliä kunnes tietyllä maksimitaajuudella pulssit ovat niin huonoja, ettei taajuutta enää voi nostaa. Pulssien suorakulmaisuutta  
 10 maksimitaajuudella voidaan hyödyntää siten, että modulaattoreita laitetaan kaksi tai useampia peräkkäin. Mikäli niitä on esimerkiksi kaksi niin ne voivat toteuttaa tarvittavat vaihe-eromuutokset vuorotellen ja  
 15 pystyvät näin kaksinkertaistamaan maksimitaajuuden. Suurin mahdollinen peräkkäisten modulaattorien lukumäärä riippuu yhden modulaattorin optisen vasteen suorakulmaisuudesta (nousu-, lasku- ja vakiintumisajoista) ja sitä suurempi määrä huonontaisi optista signaalia enemmän kuin on sallittua (vrt. perinteinen modulaatio).

Pitkän aikavälin tehonkulutusta saadaan pienennettyä ja vaihe-eron muutosta tarpeen mukaan nopeutettua, kun ainakin kaksi peräkkäistä modulaattoria  
 25 ovat keskenään erilaisia siten, että ensimmäinen modulaattori on toiseen modulaattoriin nähden merkittävästi nopeampi ja enemmän tehoa kuluttava, jolloin ensimmäistä modulaattoria käytetään nopeiden ja/tai peräkkäisten vaihe-eromuutosten toteuttamiseen ja toista  
 30 modulaattoria käytetään hitaiden ja/tai yksittäisten vaihe-eromuutosten sekä pitkien staattisten toimintatilojen toteuttamiseen, jolloin keskimääräinen tehonkulutus on merkittävästi pienempi kuin pelkkää ensimmäistä modulaattoria käytettäessä ja modulaation maksiminopeus on merkittävästi korkeampi kuin pelkkää  
 35 toista modulaattoria käytettäessä. Kun optinen signaali on tarkoitus pitää pidemmän aikaa vakiona, käyte-

tään vain hidasta ja pienitehoista modulaattoria säilyttämään haluttu vaihe-ero. Mikäli hitaan modulaattorin nousuaika ja/tai laskuaika on huomattavasti vakiintumisaikaa lyhyempi, niin tätä pienitehoista modulaattoria voidaan käyttää myös yksittäisten vaihemuutosten toteuttamiseen ja ainoastaan useammat peräkkäiset muutokset tehdään suuritehoisilla modulaattoreilla. Tällä tavalla pitkän aikavälin keskimääräinen tehonkulutus voi olla hyvinkin pieni, vaikka modulaattori tarvittaessa pystyy myös hyvin nopeaan ja jatkuvaan modulaatioon (hetkellisesti suuremmalla tehonkulutuksella).

Siirtyminen nopean ja hitaan modulaattorin käytön välillä voidaan toteuttaa joko äkillisesti tai hyvin hitaasti. Kummassakin tapauksessa siis toisen modulaattorin aiheuttama vaihe-ero muuttuu esim.  $0 \rightarrow 180^\circ$  ja toisen  $180 \rightarrow 0^\circ$  siten, että niiden yhdessä aiheuttama vaihe-ero pysyy vakiona. Äkillisessä siirtymisessä voi optinen signaali hetkellisesti heiketä, mutta yhdistettynä samanaikaisen kokonaisvaihe-eron muutoksen tästä ei ole haittaa.

Vaihe-eron muutoksia voidaan edelleen optimoida niin, että ohjaussignaalit optimoidaan nousu- ja/tai laskujaksojensa aikana siten, että ne riippuvat, paitsi vaihe-eron alkutilasta ja tavoitetilasta, myös vaihe-eron alkutilaa edeltävästä ja/tai vaihe-eron tavoitetilaa seuraavasta ainakin yhdestä vaihe-eromuutoksesta siten, että optimoinnissa otetaan huomioon vaihe-eromuutosta mahdollisesti edeltävä ja/tai seuraava vakiintumisaika, jonka aikana vaihe-ero on jo saavuttanut tavoitellun tasonsa, mutta aaltojohteiden taitekertoimet eivät ole vielä vakiintuneet.

Esimerkiksi termo-optisessa komponentissa kahden bitin välissä lämmityssignaaleja voidaan ohjata neljällä vaihtoehtoisella tavalla riippuen eri bittiyhdistelmistä (00,11,01,10). Vaihtoehdot voidaan nimetä seuraavasti: off ( $0 \rightarrow 0$ ), on ( $1 \rightarrow 1$ ), nousu ( $0 \rightarrow 1$ )

ja lasku ( $1 \rightarrow 0$ ). Bittiä vastaava lämmitysjakso riippuu myös edeltävästä bitistä eli modulaattorin lähtötilasta. Perinteisessä modulaatiossa ohjaus tapahtuu vain yhden bitin perusteella ( $0,1$ ) eli yleisimmin vaihtamalla toisen valokanavan lämmitys vuorotellen päälle (1) ja pois (0). Yhden sijasta kahta bittiä käyttämällä ja nousu/laskujaksojen hienorakenne optimoimalla saadaan perinteiseen modulaatioon verrattuna huomattavasti lisää nopeutta, mutta samalla tehonkulutus kasvaa ja tarvitaan jokin ohjauslogiikka (elektroniikka tai tietokoneohjelma) tulevan bittidatan (tms.) ja lämmityssignaalien väliin. Kasvattamalla yhteen nousu- ja/tai laskujaksoon vaikuttavien bittien tai niitä vastaavien toimintatilojen lukumäärää vielä suuremmaksi kuin kaksi, voidaan modulaattorin toimintaa edelleen nopeuttaa tai pienentää tehonkulutusta.

Keksinnön mukainen modulaatiomenetelmä kasvattaa hiukan komponentin sähköistä tehonkulutusta, etenkin nousu- ja laskujaksoissa, ja vaatii hieman perinteistä monimutkaisempaa ohjauselektroniikkaa. Nämä ovat kuitenkin merkittävään nopeuden kasvattamiseen nähden melko pieniä ongelmia. Tehonkulutusta on myös mahdollista pienentää valokanavan kokoa pienentämällä ja termistä eristystä parantamalla (eristysurilla).

25

#### ESIMERKKI

Keksinnön mukaista menetelmää on kokeiltu käytännössä silicon-on-insulator (SOI) teknologiaan perustuvilla termo-optisilla kytkimillä. Kytkinten toimintataajuus on jo saatu nostettua helposti yli 160 kHz:n, kun kaupalliset termo-optiset kytkimet yleensä toimivat korkeintaan 1 kHz:n taajuudella.

Kytkimien jakosuhte ei ole niiden epäideaalisesta rakenteesta ( $r \neq 1$ ) johtuen täydellinen. Lisäksi kytkimet ovat päällyskerroksena käytetyn termisen oksidin takia polarisaatoririippuvia. Nämä syyt rajoittavat kytkimien optisia ominaisuuksia, pääasiassa niiden

erottelukykä, mutta niillä ei ole juurikaan vuorovai-  
kutusta käytetyn modulaatioperiaatteen kanssa. Siksi  
kytkinten optisia ominaisuuksia on helppo parantaa  
vaikuttamatta mitenkään olennaisesti niiden nopeuteen.

5 Perinteisillä modulointimenetelmillä (vrt.  
kuvat 3 ja 4) kytkimet on saatu toimimaan noin 10  
kHz:n maksimitaajuudella, jolloin pulssien muoto alkaa  
jo merkittävästi heikentyä. Käyttämällä keksinnön mu-  
kaista modulointimenetelmää on kytkimet saatu toimi-  
10 maan yli 160 kHz:n taajuudella eli vähintään yhtä (tai  
ehkä jopa kahta) kertaluokkaa nopeammin kuin vastaavat  
kaupalliset termo-optiset kytkimet. Tarvittavat säh-  
köiset signaalit on saatu aikaan yksinkertaisella ja  
edullisella laitteistolla.

15 Kuvissa 8 ja 9 on esitetty 24,3 kHz:n ja 161  
kHz:n taajuudella saadut mittaustulokset, jotka sel-  
västi osoittavat modulaatioperiaatteen käytännön toi-  
mivuuden. Optisen signaalin minimi- ja maksimiarvot  
poikkeavat vielä 161 kHz:n taajuudellakin (kuva 9)  
20 vasta alle 5% niistä optimiarvoista jotka saavutetaan  
hyvin hitaalla perinteisellä modulaatiolla. Valo-  
kanavien ohjaussignaalien amplitudit eli lämmitystehot  
on säädetty siten, että optinen signaali P opt. on  
saatu muuttumaan mahdollisimman nopeasti edestakaisin.  
25 Kuvan 8 esimerkissä kytkin on pidetty noin 2  $\mu$ s:n pi-  
tuisten nousu- ja laskujaksojen väleissä joko on- tai  
off-tilassa 18  $\mu$ s. Kuvan 9 esimerkissä kytkin on pi-  
detty noin 2  $\mu$ s:n pituisten nousu- ja laskujaksojen  
väleissä joko on- tai off-tilassa 1  $\mu$ s.

30 Kuvassa 8 käyrät P1 ja P2 esittävät valo-  
kanavien lämmitysvastuksiin syötettävän sähkötehon,  
ts. lämmitystehon, muuttumista kytkimen tilan vaihta-  
miseksi on- ja off-tilojen välillä. Off-tilassa käyte-  
tään kummankin valokanavan esilämmitystä, jolloin  
35 lämmitystehot P1 ja P2 ovat suurin piirtein yhtä suu-  
ret. Kun kytkin ohjataan off-tilasta on-tilaan, muo-  
dostetaan käyrään P2 korkea tehopiikki nousujakson

alussa ja samalla lämmitysteho P1 pudotetaan nolleen. Tehopiikki ja samanaikainen lämmitystehon P1:n pudotaminen nolleen aiheuttaa jyrkän laskun optisessa tehossa P opt eli kytkin siirtyy nopeasti off-tilasta on-tilaan. On-tilassa lämmitysteho P2 säädetään arvoon, joka riittää on-tilan päälläpitoon. Laskujakso on-tilasta off-tilaan alkaa puolestaan lämmitystehon P1 korkealla tehopiikillä, jolloin samalla P2 pudotetaan on-tilan päälläpitotehosta nolleen. Silloin optinen teho P opt nousee jyrkästi, kunnes off-tila on saavutettu. Lämmitystehot P1 ja P2 asetetaan takaisin off-tilan vakio-arvoihinsa.

Samantapainen toiminta on havaittavissa kuvasta 9, jossa tosin optinen signaali P opt seuraa viiveellä lämmitystehojen P1 ja P2 muutoksia johtuen lämmönsiirtoon ja optisen ulostulon mittaukseen kuluva ajasta.

Kuvissa 8 ja 9 näkyvät kummankin valokanavan lämmitystehosignaalit P1 ja P2 ovat kuvan 5 periaatekuvaan verrattuna varsin epäideaalisia, mikä johtuu käytettyjen sähköisten komponenttien yksinkertaisuudesta. Näillä hyvin edullisilla komponenteilla on kuitenkin jo pystytty osoittamaan selvästi keksinnön mukaisen modulaatioperiaatteen edut. Kokonaistehonkulutus määräytyy pääasiassa nopeista tehopiikeistä, joilla kytkimen tilaa vaihdetaan. Siksi tehonkulutus on sitä suurempi mitä vähemmän aikaa kytkintä pidetään varsinaisten nousu- ja laskuaikojen välissä on- tai off-tilassa. Kuvia 8 ja 9 vastaavat keskimääräiset tehonkulutukset ovat noin 0,36 W (24,3 kHz) ja vastaavasti 0,81 W (161 kHz).

Keksintöä ei rajata pelkästään edellä esitetyjä sovellutusesimerkkejä koskevaksi, vaan monet muunnokset ovat mahdollisia pysyttäessä patenttivaatimusten määrittämän keksinnöllisen ajatuksen puitteissa.

## PATENTTIVAATIMUKSET

1. Menetelmä optoelektronisen komponentin ohjaamiseksi sähköisillä ohjaussignaaleilla (1, 2), jossa komponentissa on ainakin kaksi toisiinsa optisessa  
 5 kytkennässä olevaa aaltojohdetta, ensimmäinen aaltojohde (3) ja toinen aaltojohde (4), jotka muodostavat kulkuradat optiselle signaalille, ja jossa menetelmässä

- muutetaan ensimmäisen aaltojohteen (3) taitekerrointa jaksottaisesti ensimmäisellä ohjaussignaallilla (1), jonka amplitudia vaihdellaan jaksottaisesti ensimmäisen amplituditason (I) ja toisen amplituditason (II), joka on suurempi kuin ensimmäinen amplituditaso (I), välillä, ja

15 - muutetaan toisen aaltojohteen (4) taitekerrointa jaksottaisesti toisella ohjaussignaallilla (2), jonka amplitudia vaihdellaan jaksottaisesti mainitun ensimmäisen amplituditason (I) ja kolmannen amplituditason (III), joka on nolla tai pienempi kuin ensimmäinen amplituditaso (I), välillä,

20 jolloin kun ensimmäinen ja toinen ohjaussignaali ovat samalla ensimmäisellä amplituditasolla (I), ensimmäisen ja toisen aaltojohteen taitekertoimet ovat yhtäsuuret ja niiden välinen vaihe-ero on nolla, ja  
 25 kun ensimmäinen ohjaussignaali on toisella amplituditasolla (II) ja toinen ohjaussignaali kolmannella amplituditasolla (III), ensimmäisen ja toisen aaltojohteen taitekertoimet ovat erisuuruiset niin, että niiden välillä on ennalta määrätty vaihe-eron tavoitearvo, ja

30 jolloin vaihe-eron nousujaksossa ensimmäinen amplituditaso (I) muodostaa ensimmäisen ja toisen ohjaussignaalin lähtötason, toinen amplituditaso (II) muodostaa ensimmäisen ohjaussignaalin tavoitetason ja  
 35 kolmas amplituditaso (III) muodostaa toisen ohjaussignaalin tavoitetason, ja vastaavasti vaihe-eron laskujaksossa toinen amplituditaso (II) muodostaa ensimmäi-



sen ohjaussignaalin lähtötason, kolmas amplituditaso (III) muodostaa toisen ohjaussignaalin lähtötason ja ensimmäinen amplituditaso (I) muodostaa ensimmäisen ja toisen ohjaussignaalin tavoitetason, tunnettu  
 5 siitä, että vaihe-eron muutoksen nopeuttamiseksi ensimmäisen ja/tai toisen ohjaussignaalin amplitudia säädetään kulloisestakin lähtötasosta kulloisenkin tavoitetasonsa ohi ennen asettamista tavoitetasolleen.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä,  
 10 tunnettu siitä, että vaihe-eron nousujakson nopeuttamiseksi ensimmäisen ohjaussignaalin (1) amplitudi nostetaan lähtötasoltaan, so. ensimmäiseltä amplituditasolta (I), neljännelle amplituditasolle (IV), joka on olennaisesti suurempi kuin tavoitetaso, so.  
 15 toinen amplituditaso (II), ja samanaikaisesti toisen ohjaussignaalin (2) amplitudi lasketaan lähtötasoltaan, so. ensimmäiseltä amplituditasolta (I) viiden-  
 nelle amplituditasolle (V), joka on nolla tai olennaisesti tavoitetasoa, so. kolmatta amplituditasoa (III),  
 20 pienempi, minkä jälkeen ensimmäisen ohjaussignaalin (1) amplitudi lasketaan tavoitetasoonsa, so. toiselle amplituditasolle (II) ja toisen ohjaussignaalin (2) amplitudi asetetaan tavoitetasoonsa, so. kolmannelle amplituditasolle (III).

25 3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että nousujakson nopeuttamiseksi valitaan ensimmäisen ohjaussignaalin (1) neljäs amplituditaso (IV) niin suureksi, että vaihe-ero pyrkii selvästi nousemaan mainittua ennalta määrättyä vaihe-eron  
 30 tavoitearvoa suuremmaksi, jolloin muodostuu taiteker-  
 toimen ns. ylilyönti, ja ylilyönnin kompensoimiseksi nostetaan toisen ohjaussignaalin (2) amplitudi kuudennelle amplituditasolle (VI), joka on korkeampi kuin viides amplituditaso (V).

35 4. Patenttivaatimuksen 2 tai 3 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että ensimmäisen ohjaussignaalin (1) amplitudi asetetaan seitsemännelle ampli-

tuditasolle (VII), joka on pienempi kuin toinen amplituditaso (II), ennen kuin se asetetaan tavoitearvoonsa, so. toiselle amplituditasolle (II).

5        5. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 4 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että vaihe-eron laskujakson nopeuttamiseksi ensimmäisen ohjaussignaalin (1) amplitudi asetetaan lähtötasoltaan, so. toiselta amplituditasolta (II), kahdeksannelle amplituditasolle (VIII), joka on nolla tai olennaisesti pienempi kuin tavoitetaso, so. ensimmäinen amplituditaso (I), ja samanaikaisesti toisen ohjaussignaalin (2) amplitudi nostetaan lähtötasoltaan, so. kolmannelta amplituditasolta (III) yhdeksännelle amplituditasolle (IX), joka on olennaisesti tavoitetasoa, so. ensimmäistä amplituditasoa (I), suurempi, minkä jälkeen  
10        ensimmäisen ohjaussignaalin (1) amplitudi asetetaan tavoitetasoonsa, so. ensimmäiselle amplituditasolle (I) ja toisen ohjaussignaalin (2) amplitudi asetetaan tavoitetasoonsa, so. ensimmäiselle amplituditasolle  
15        (I).  
20

6. Patenttivaatimuksen 5 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että ennen kuin toisen ohjaussignaalin (2) amplitudi asetetaan tavoitetasoonsa, so. ensimmäiselle amplituditasolle (I) toisen ohjaussignaalin (2) amplitudi lasketaan yhdeksänneltä amplituditasolta (IX) kymmenennelle amplituditasolle (X), joka on pienempi kuin ensimmäinen amplituditaso (I).  
25

7. Patenttivaatimuksen 6 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että valitaan kymmenes amplituditaso (X) olennaisesti samansuuruiseksi kuin kahdeksas amplituditaso (VIII).  
30

8. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 7 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että valitaan ainakin jokin seuraavista nolllaksi: ensimmäinen amplituditaso (I), kolmas amplituditaso (III), viides amplituditaso (V), seitsemäs amplituditaso (VII), kahdeksas amplituditaso (VIII), kymmenes amplituditaso (X).  
35

9. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 8 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että valitaan ensimmäinen amplituditaso (I) ja/tai kolmas amplituditaso (III) suuremmaksi kuin nolla.

5 10. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 9 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että moduloidaan ensimmäisen ja toisen aaltojohteen välistä vaihe-eroa kahdella tai useammalla peräkkäisellä modulaattorilla (10, 11).

10 11. Patenttivaatimuksen 10 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että ohjataan modulaattorit (10, 11) toimimaan vuorotellen.

15 12. Patenttivaatimuksen 11 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että toteutetaan vain osa peräkkäin tavoitelluista vaihe-eromuutoksista yhtä modulaattoria (10) vastaavilla ohjaussignaaleilla ja muut vaihe-eromuutokset toteutetaan mainittuun modulaattoriin nähden peräkkäin olevien seuraavien yhden tai useamman vastaavan modulaattorin (11) ohjaussignaaleilla  
20 leilla niin, että niiden aiheuttamat vaihe-eromuutokset summautuvat yhteen, jolloin seuraava vaihe-eromuutos voidaan tehdä seuraavalla modulaattorilla heti kun edellinen vaihe-eromuutos on toteutettu, vaikka sen toteuttaneen modulaattorin aaltojohteiden  
25 taitekertoimet eivät ole vielä vakiintuneet tavoite-tasoilleen.

30 13. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 12 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että ainakin kaksi peräkkäistä modulaattoria (10, 11) ovat keskenään erilaisia siten, että ensimmäinen modulaattori (10) on toiseen modulaattoriin (11) nähden merkittävästi nopeampi ja enemmän tehoa kuluttava, jolloin ensimmäistä modulaattoria käytetään nopeiden ja/tai peräkkäisten vaihe-eromuutosten toteuttamiseen ja toista modulaattoria käytetään hitaiden ja/tai yksittäisten  
35 vaihe-eromuutosten sekä pitkien staattisten toimintatilojen toteuttamiseen, jolloin keskimääräinen tehon-

kulutus on merkittävästi pienempi kuin pelkkää ensimmäistä modulaattoria käytettäessä ja modulaation maksiminopeus on merkittävästi korkeampi kuin pelkkää toista modulaattoria käytettäessä.

5           14. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 13 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että ohjaussignaalit optimoidaan nousu- ja/tai laskujaksojensa aikana siten, että ne riippuvat, paitsi vaihe-eron alkutilasta ja tavoitetilasta, myös vaihe-eron alkutilaa  
10 edeltävästä ja/tai vaihe-eron tavoitetilaa seuraavasta ainakin yhdestä vaihe-eromuutoksesta siten, että optimoinnissa otetaan huomioon vaihe-eromuutosta mahdollisesti edeltävä ja/tai seuraava vakiintumisaika, jonka aikana vaihe-ero on jo saavuttanut tavoitellun tason-  
15 sa, mutta aaltojohteiden taitekertoimet eivät ole vielä vakiintuneet.

          15. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 14 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että asetetaan ennalta määrätyksi vaihe-eron tavoitearvoksi noin  
20 180°.

          16. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 15 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että järjestetään aaltojohteet (3, 4) valokanaviksi.

          17. Patenttivaatimuksen 16 mukainen menetelmä,  
25 tunnettu siitä, että valitaan valokanavat (3, 4) seuraavista:

- SOI (silicon-on-insulator) -valokanavat,
- lasivalokanavat,
- polymeerivalokanavat,
- 30 - yhdistepuolijohdevalokanavat.

          18. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 17 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että valitaan optoelektroniseksi komponentiksi optinen kytkin, kuten interferometrinen optinen kytkin.

35           19. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 18 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että valitaan optoelektroniseksi komponentiksi komponentti, jossa on

yksi tai useampi Mach-Zehnder interferometri, joka muodostaa optisen kytkimen tai suodattimen.

20. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 19 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että valitaan optiseksi kytkimeksi termo-optinen kytkin, jossa modulaattorit (10, 11) ovat valokanavia (3, 4) lämmittäviä lämmityselementtejä (5, 6; 7, 8) ja sähköiset ohjaussignaalit (1, 2) muodostuvat lämmityselementteihin syötettävistä ohjausjännite/virtapulsseista, jolloin ohjaussignaalin amplituditaso vastaa ohjausjännite/virtapulssin lämmityselementissä synnyttämää lämmitystehoa.

## (57) TIIVISTELMÄ

Menetelmä optoelektronisen komponentin ohjaamiseksi. Komponentissa on kaksi aaltojohdetta (3 ja 4). Ensimmäisen aaltojohteen (3) taitekerrointa muutetaan jaksottaisesti ensimmäisellä ohjaussignaalin (1), jonka amplitudia vaihdellaan ensimmäisen amplituditason (I) ja toisen amplituditason (II), joka on suurempi kuin ensimmäinen amplituditaso (I), välillä. Toisen aaltojohteen (4) taitekerrointa muutetaan jaksottaisesti toisella ohjaussignaalin (2), jonka amplitudia vaihdellaan mainitun ensimmäisen amplituditason (I) ja kolmannen amplituditason (III), joka on nolla tai pienempi kuin ensimmäinen amplituditaso (I), välillä. Kun ensimmäinen ja toinen ohjaussignaali ovat samalla ensimmäisellä amplituditasolla (I), ensimmäisen ja toisen aaltojohteen taitekertoimet ovat yhtä suuret ja niiden välinen vaihe-ero on nolla. Kun ensimmäinen ohjaussignaali on toisella amplituditasolla (II) ja toinen ohjaussignaali kolmannella amplituditasolla (III), ensimmäisen ja toisen aaltojohteen taitekertoimet ovat erisuuruiset niin, että niiden välisellä vaihe-erolla on ennalta määrätty tavoitearvo. Vaihe-eron muutoksen nopeuttamiseksi ensimmäisen ja/tai toisen ohjaussignaalin amplitudia säädetään kulloisestakin lähtötasosta kulloisenkin tavoitetasonsa ohi ennen asettamista tavoitetasolleen.

(kuva 5)

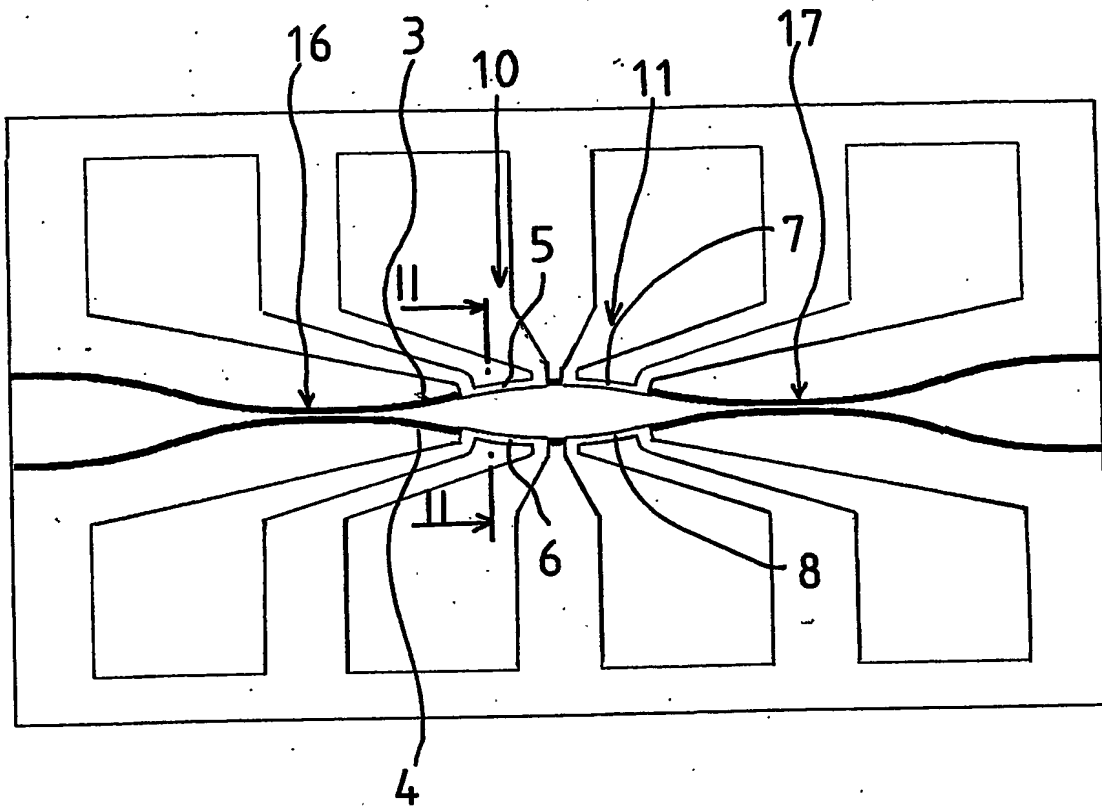


Fig 1

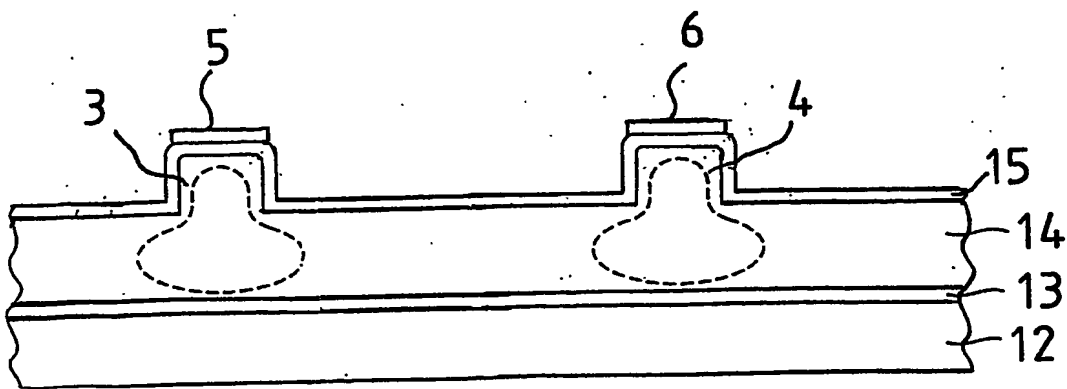


Fig 2

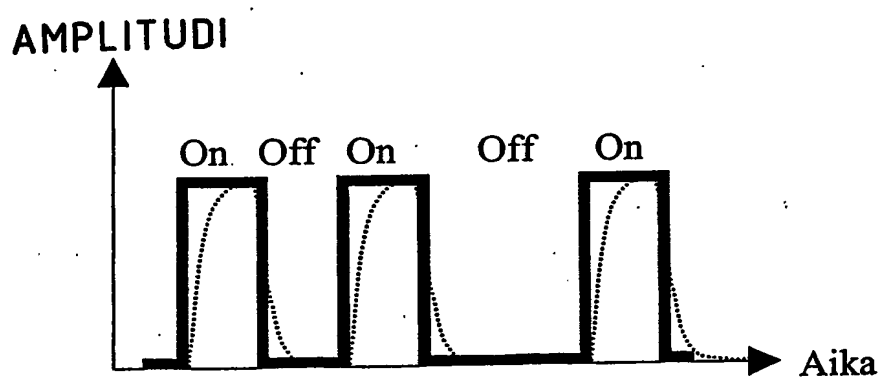


Fig 3

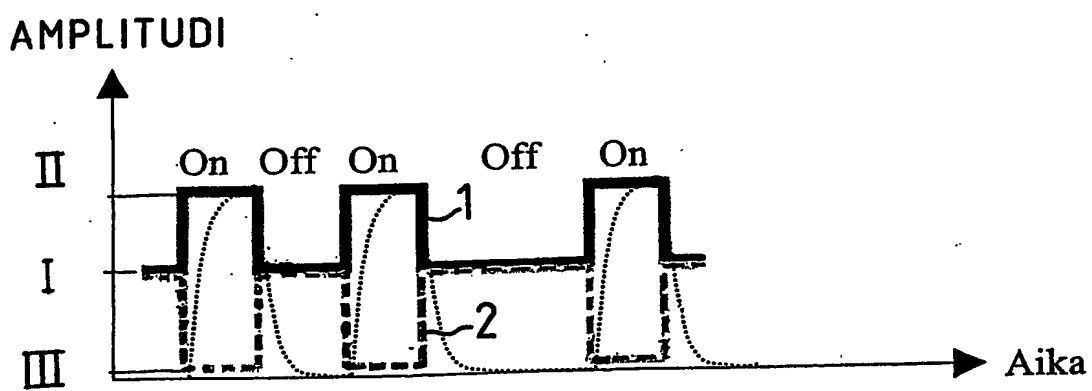


Fig 4



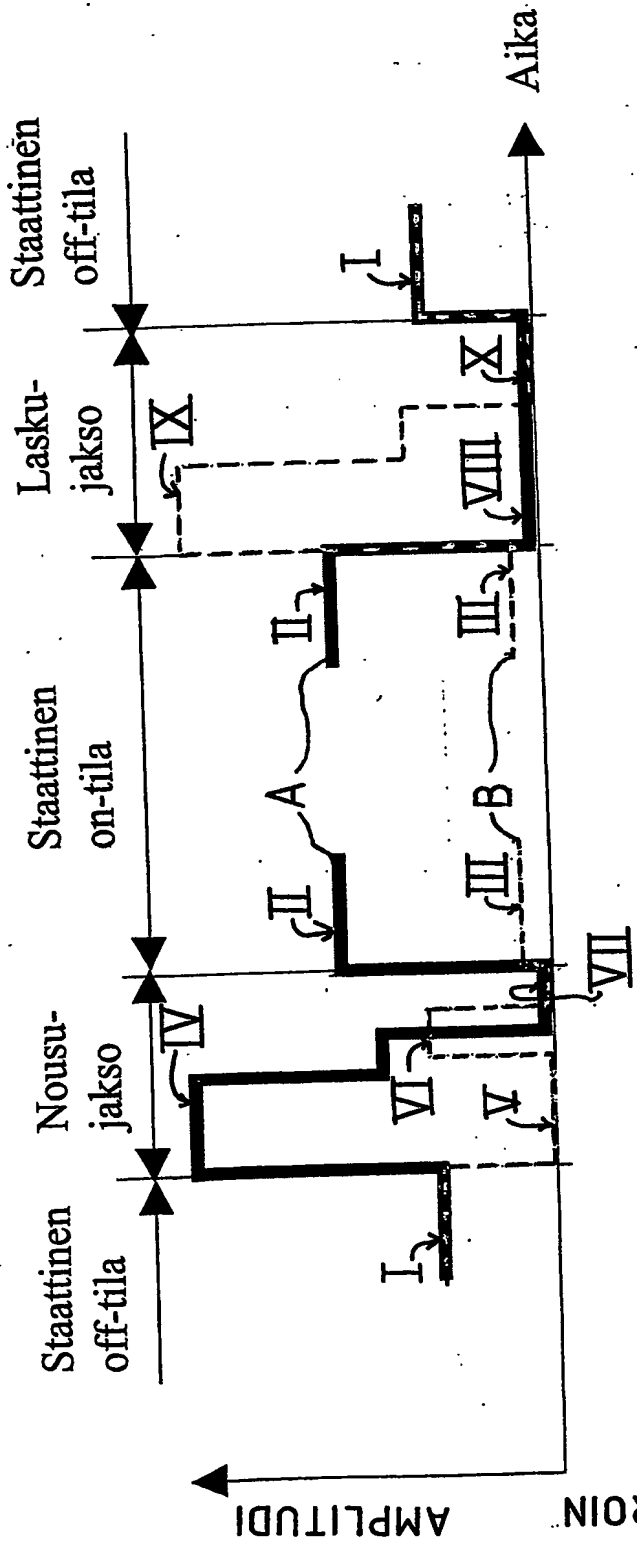


Fig 5

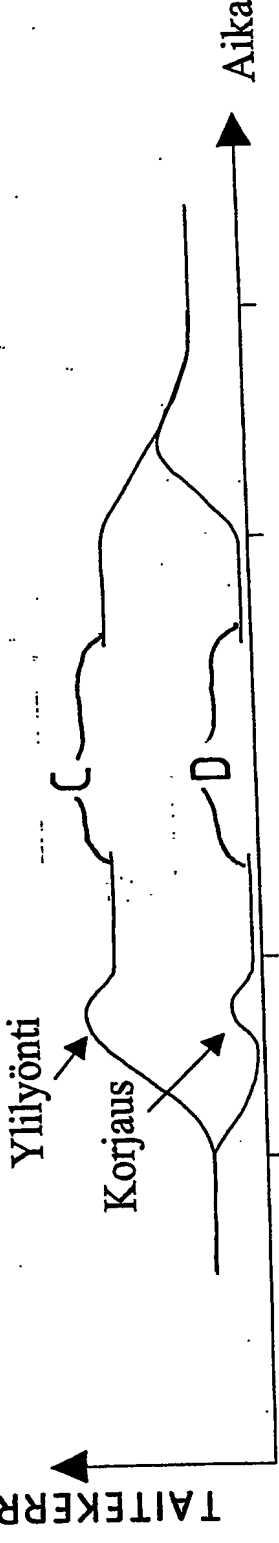


Fig 6

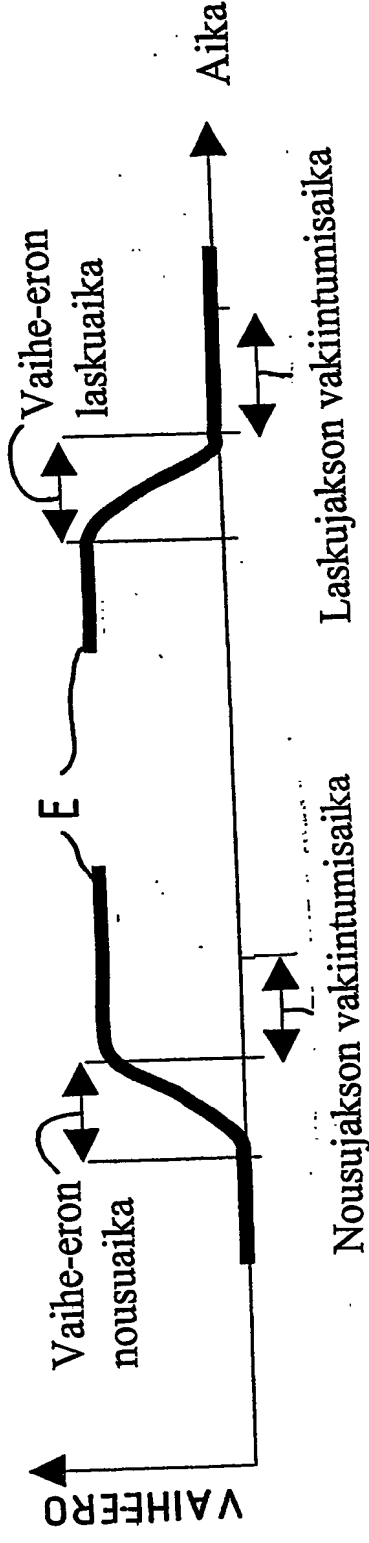


Fig 7

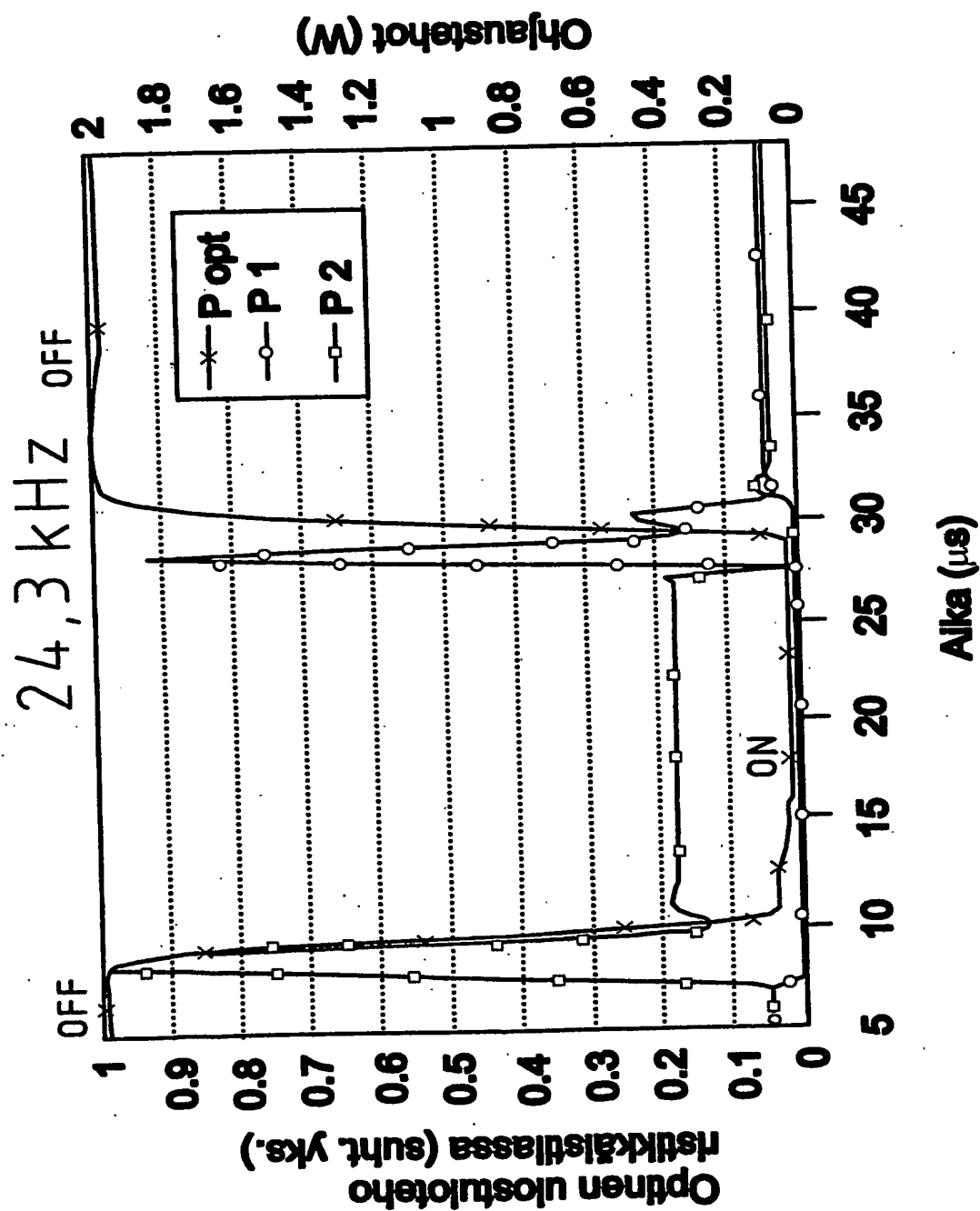


Fig 8

161 KHZ

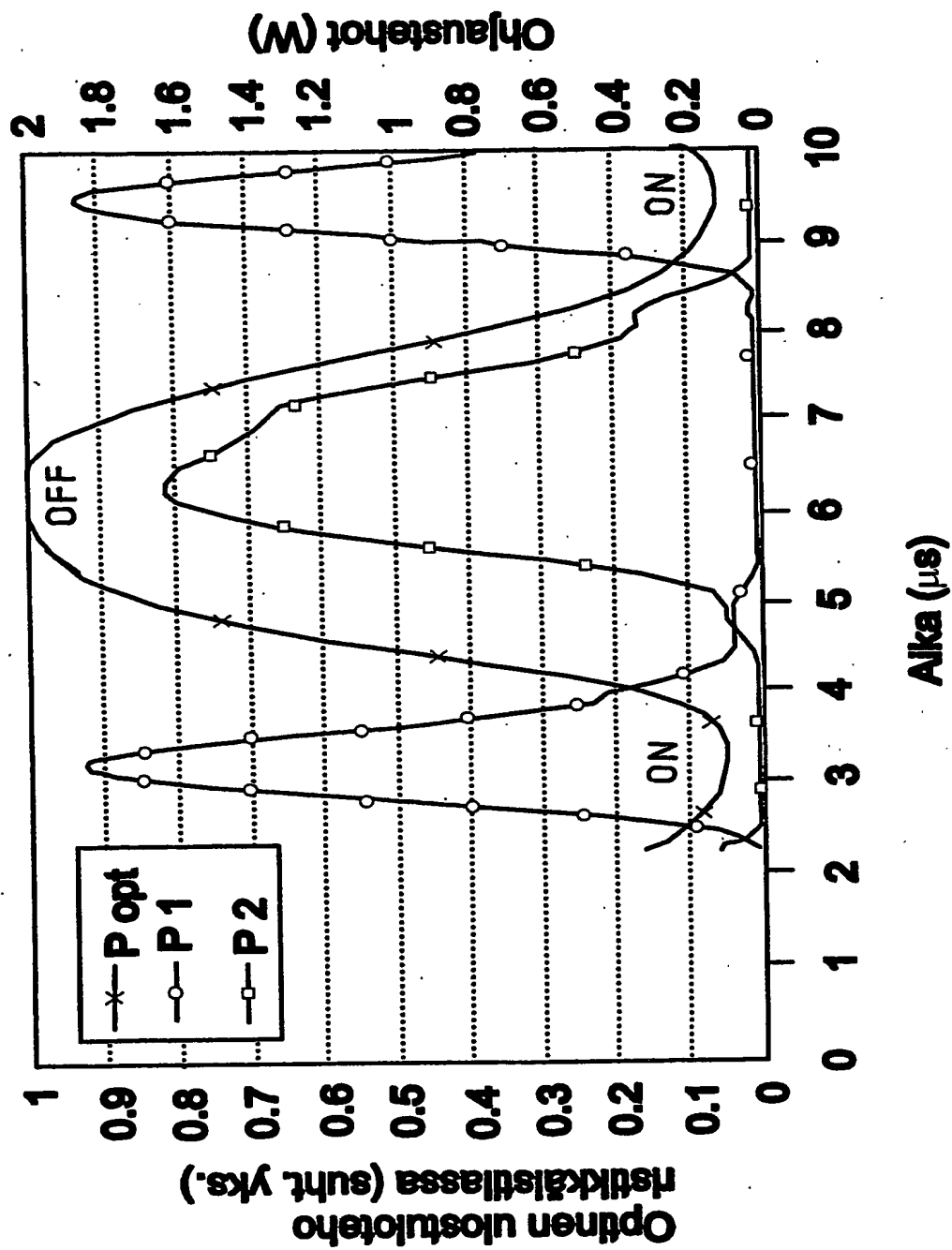


Fig 9